

охлаждения), 2) отсутствие пережима между камерами в установке ЦКТИ.

На основе сравнения расчетной гидродинамики данных установок можно выделить основные различия их в работе, которыми являются относительные длины областей обратных токов, а также характер возвратных течений в камерах охлаждения. Основные параметры работы совпадают, что говорит о возможности проведения сравнительного анализа экспериментальных данных по газификации углей в этих установках. В дальнейшем запланировано моделирование работы установок с учётом процесса газификации твёрдого топлива.

Исследование выполнено в Уральском федеральном университете за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-00524).

Список использованных источников

1. San Shwe Hla, Daniel G. Roberts, David J. Harris. A numerical model for understanding the behaviour of coals in an entrained-flow gasifier // Fuel Processing Technology. 2015. № 134. С. 424–440.
2. Абаимов Н.А., Шурчалин А.А., Шестаков Н.С., Осипов П.В., Рыжков А.Ф. Экспериментальное и численное исследование поточной газификации угля при повышенном давлении и различных составах дутья // Материалы IX Всероссийской конференции с международным участием Горение топлива: теория, эксперимент, приложения (16–18 ноября 2015 г.) / Институт теплофизики СО РАН, г. Новосибирск. 2015. Электронное издание.

УДК 662.76

Г. С. Сборщиков, А. Ю. Терехова

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС»,
г. Москва, Россия

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ И РЕЖИМА РАБОТЫ ПЕЧИ С БАРБОТАЖНЫМ СЛОЕМ

Аннотация

Печи с барботажным слоем являются наиболее перспективными и универсальными плавильными агрегатами будущего. Для достижения высоких показателей работы печи рассматриваемого типа необходимо в максимальной степени интенсифицировать перемешивание ванны и обеспечить предельно возможную межфазную поверхность массообмена.

Ключевые слова: печь с барботажным слоем, перемешивание, массообмен.

Abstract

A Furnace with bubbling layer are the most promising and versatile melting furnaces of the future. To achieve high performance furnace of this type needs to the maximum extent to intensify the mixing of the bath and to ensure the maximum possible interfacial surface mass transfer.

Keywords: furnace with bubbling layer, mixing, mass transfer.

В современной металлургии большинство из действующих плавильных агрегатов морально устарели. В связи с этим, во всем мире ведутся работы по разработке плавильных печей нового поколения. Одной из таких печей, разработанной у нас в стране, является печь с барботажным слоем. С точки зрения теплофизики эти печи обладают свойствами, которые делают их наиболее перспективными и универсальными плавильными агрегатами будущего.

Печи с барботажным слоем обладают следующими важными достоинствами:

1. Предельные значения объемной тепловой нагрузки и объемной концентрации целевого компонента в зоне технологического процесса – это главное достоинство печей с барбо-

тажным слоем. В сочетании с большой межфазной поверхностью это предопределяет высокую удельную производительность печей, и их небольшие размеры;

2. Небольшие размеры печи делают её малоинерционной и легкоуправляемой, что создает предпосылки для полной автоматизации и использования этой печи в автоматических поточных линиях;

3. Высокие тепловые нагрузки и интенсивное перемешивание ванны, заставляют заменить огнеупорную футеровку рабочего пространства печи на охлаждаемые металлические кессоны с огнеупорной набивкой, что приводит к увеличению межремонтной кампании печей и обеспечивают более полное полезное использование теплоты топлива;

4. Появляется возможность организации двух технологических зон: зоны плавления, работающей в режиме аппарата идеального смешения и зоны сепарации, работающей в режиме аппарата идеального вытеснения [3].

Из предыдущих исследований показано, что существует два устойчивых гидродинамических режима продувки: струйный и пузырьковый. Определить режим продувки можно по значению критерия Gn .

$$Gn = \frac{\rho_{\Gamma} \cdot w_0^2}{\rho_{\text{ж}} \cdot h_{\text{ж}} \cdot g}, \quad (1)$$

где Gn – критерий Глинкова;

ρ_{Γ} – плотность газового потока, кг/м^3 ;

W_0 – скорость расплава в заданной точке ванны, м/с ;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкой фазы, кг/м^3 ;

$h_{\text{ж}}$ – высота слоя жидкости, м ;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Если критерий $Gn < 1$, то имеет место пузырьковый режим, если критерий $Gn > 3$, то струйный режим истечения. При промежуточных значениях имеет место переходной режим.

В настоящее время все существующие аппараты с боковой продувкой, за исключением печей Ванюкова и Ромелт, работают в пузырьковом режиме. Печи Ванюкова и Ромелт работают в переходном режиме. На всех действующих, рассматриваемого типа печах, фурмы располагаются соосно навстречу, друг другу, а ширина печей составляет 2–2,5 м.

Отличительной особенностью действующих печей с барботажным слоем является ещё и то обстоятельство, что на них при определенных условиях возникают мощные вибрации корпуса (рисунок 1) [5].

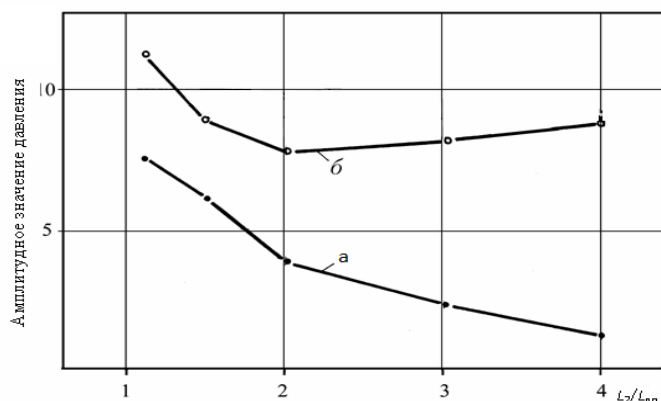


Рис. 1. Зависимость относительной динамической нагрузки от поперечного размера печи:
а – шахматное расположение фурм; б – соосное расположение фурм;
 L_2 – поперечный размер печи; $L_{\text{пр}}$ – длина зоны продувки

Очевидно, в ваннах печей с барботажным слоем имеет место конвективная диффузия. При этом в условиях протекания технологических процессов при высоких температурах и наличии химических реакций на межфазной поверхности, массообмен осуществляется в диффузионной области и его можно качественно описать уравнением массоотдачи.

$$M_i = \beta \cdot F \cdot \Delta C_i, \quad (2)$$

где M_i – поток массы, кг/с;

β – коэффициент массоотдачи, м/с;

$\beta = \beta(C_i, w_\infty, l_0, D_i, v, t, q, L \dots)$

F – суммарная площадь взаимодействия фаз, m^2 ;

ΔC_i – разность концентраций между потоком жидкости и частицей, kg/m^3 .

Из (2) следует, что при заданном перепаде концентраций целевого компонента интенсифицировать межфазный массообмен можно либо за счет увеличения коэффициента массоотдачи, либо за счет увеличения межфазной поверхности. Согласно экспериментальным данным, [5] увеличить межфазную поверхность в ванне металлургической печи с барботажным слоем невозможно, т.к. для этого необходимо осуществить продувку со значением критерия Глинкова $Gn > 13$, что практически невозможно (рисунок 2).

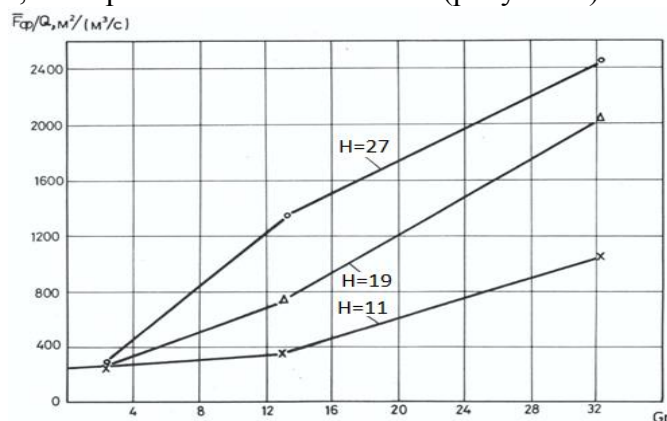


Рис. 2. Зависимость относительной поверхности раздела фаз в фурменной зоне от режима продувки и высоты слоя: F_ϕ – суммарная межфазная поверхность m^2 ; Q – расход воздуха m^3/c .

Наиболее целесообразно ускорить технологические процессы в барботажном слое за счет интенсификации процесса её перемешивания. Перемешивание ванны в рассматриваемых печах происходит за счет трёх обстоятельств:

- за счет всплывающих газовых пузырей;
- за счет движущихся через расплав газожидкостных потоков;
- за счет свободной конвекции, возникающей в результате неравномерного распределения газа в объеме барботажного слоя, в особенности в фурменной зоне.

Первые два механизма перемешивания хорошо изучены и по ним имеется большой объем публикаций. Эти исследования обобщены в работе [1] и показано, что средняя по ванне скорость перемешивания за счет этих механизмов не может превышать 0,07 м/с. Вместе с тем, по данным прямого эксперимента В.Г. Здановской [4] установлено, что согласно получаемым среднему по ванне значения коэффициента массоотдачи для печи Ромелт скорость перемешивания ванны должна быть порядка 0,8 м/с.

В связи с этим принято предложение, что решающую роль в перемешивании ванны играет свободная конвекция. Создана математическая модель этого процесса [2], с помощью которой установлено, что наибольшее влияние на мощность свободноконвективного перемешивания ванны оказывает распределение газа в фурменной зоне, которое зависит от конструктивных размеров печи и расположения фурм в этой зоне.

Целью нашей работы являлось на основании обобщения данных, полученных ранее в физических и численных экспериментах, выяснить наиболее целесообразные геометрические размеры печи в фурменной зоне и схему размещения фурм на её боковых стенках при условии сведения к минимуму уровень вибраций корпуса печи.

Для решения поставленной задачи в фурменной зоне был выделен контрольный объем (рисунок 3). Контрольный объем представляет собой площадь, расположенную между продольными осями двух соседних фурм, если фурмы располагаются на противоположных стенках печи соосно.

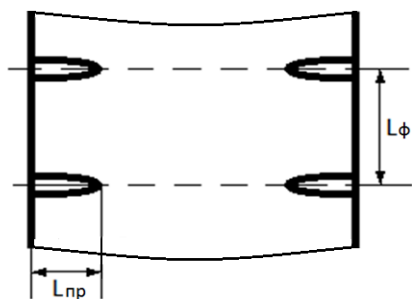


Рис. 3. Схема контрольного объема в фурменной зоне печи:
 $L_{пр}$ – длина зоны продувки; $L_{ф}$ – поперечный размер печи

В качестве исходных данных приняли значения полей скоростей в точках контрольного объема, рассчитанные для пузырькового и струйного режимов при соосном и шахматном расположении фурм на противоположных стенках.

Осредненные результаты численных экспериментов представлены в виде графика (рисунок 4). В нем представлена зависимость безразмерного коэффициента массоотдачи от относительного поперечного размера печи для разных режимов продувки. Из графика видно, что при работе в пузырьковом режиме характер распределения фурм и ширина печи не оказывают никакого влияния на интенсивность массообмена. При переходе к струйному режиму отчетливо видна зависимость интенсивности массообмена от размера печи и от характера расположения фурм в фурменной зоне печи. Из графика следует, что максимальное значение коэффициента массоотдачи может быть достигнуто при струйном режиме продувки и ширине печи равной двум калибрам зоны продувки.

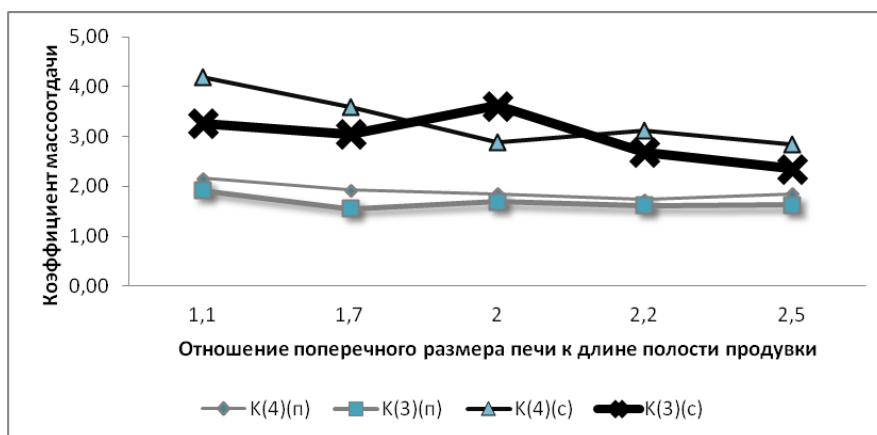


Рис. 4. Зависимость коэффициента массоотдачи от отношения поперечного размера печи к длине полости продувки: K – коэффициент массоотдачи; (3) – шахматное расположение фурм, (4) – соосное расположение фурм; (п) – пузырьковый режим; (с) – струйный режим

Приведенные исследования позволили сделать следующие выводы: для оптимального режима работы и максимальной производительности печи с барботажным слоем необходимо обеспечить струйный режим продувки, установить фурмы в фурменной зоне печи в шахматном порядке, ширина печи должна быть равна двум длинам зоны продувки.

Список использованных источников

1. Варенцов А.А. Развитие энергетического метода анализа процессов перемешивания и его использование при современном производстве стали: Дис...канд. техн. наук. – Мариуполь, 1989. – 261 с.

2. Сборщиков Г.С., Вельтищев Н.Ф., Володин А.М., Крупенников С.А. Новый подход к описанию механизма перемешивания ванны в аппаратах с барботажным слоем: труды 4 международной научно-практической конференции «Энергосберегающие технологии в промышленности». – М.: МИСИС, 2012. С. 434–439.

3. Сборщиков Г.С., Крупенников С.А. Универсальный плавильный энерготехнологический агрегат // Металлург. № 6. 2009. С. 38–41.

4. Здановская В.Г. Оптимизация конструкции фурменной зоны и гидродинамического режима печей с барботажным слоем при боковом подводе дутья: Дис...канд. техн. наук. – М.: МИСИС, 1982. – 224 с.

5. Стоименов Х.К. Усовершенствование конструкции и режима работы фьюминговых печей с газовым отоплением: Дисс...канд. техн. наук. – М.: 1983. – 168 с.

УДК 669.02.001

П. А. Сеченов, В. П. Цымбал, А. А. Оленников

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия

ПОСТАНОВКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ДИФфуЗИОННОГО ПЕРЕХОДА НА ГРАНИЦЕ ШЛАК-МЕТАЛЛ В КОЛОННОМ СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ РЕАКТОРЕ

Аннотация

В данной статье проведены исследования механизмов диффузионного перехода на имитационной модели колонного струйно-эмульсионного реактора. В качестве изменяемых параметров выступали: радиус частицы железной руды, количество подаваемых частиц углерода. Основными изучаемыми параметрами были содержание оксида железа (по высоте колонного реактора, в слое шлака) и содержание углерода в копильнике. В работе проведен анализ влияния радиуса подаваемых частиц, количества частиц углерода, времени нахождения частицы железа в слое шлака, коэффициента диффузии на границе шлак-металл на содержание углерода в копильнике.

Ключевые слова: диффузионный переход, струйно-эмульсионный реактор, исследование, имитационная модель.

Abstract

This article studied the mechanisms of transition to the diffusion simulation model column jet emulsion reactor. As variable parameters were: the radius of the particles of iron ore, the amount of supplied carbon particles. The main parameters studied were the content of iron oxide (the height of the column reactor into the slag layer), and carbon content of the forehearth. The analysis of the influence of the radius of the feed particles, the amount of carbon particles, the residence time of the iron particles in the slag layer, the diffusion coefficient for the slag-metal edge on the carbon content of the forehearth.

Keywords: diffusion transition, jet-emulsion reactor, research, simulation model.

Целью работы является изучение влияния механизмов диффузионного перехода на границе шлак-металл в колонном струйно-эмульсионном реакторе (СЭР) [1] на состав получаемого продукта – металла. Одной из диссипативных структур [2] СЭР является диффузионный переход на границе шлак-металл. Рассмотрим механизмы, происходящие в этой структуре.

Диффузионный переход на границе шлак-металл состоит из следующих стадий:

1. Попадающие в шлак частицы железной руды с учетом крупности, плотности, действующих на них сил витают и плавятся преимущественно в слое шлака, прилегающего к